

## 小水力発電における効率的な水車構造の研究（平成25年度 プレ共同研究成果）

著者	佐藤 大介, 中津川 誠
雑誌名	室蘭工業大学地域共同研究開発センター研究報告
巻	25
ページ	36-39
発行年	2015-02
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008983">http://hdl.handle.net/10258/00008983</a>

## 小水力発電における効率的な水車構造の研究（平成25年度 プレ共同研究成果）

著者	佐藤 大介, 中津川 誠
雑誌名	室蘭工業大学地域共同研究開発センター研究報告
巻	25
ページ	36-39
発行年	2015-02
URL	<a href="http://hdl.handle.net/10258/00008983">http://hdl.handle.net/10258/00008983</a>

# 小水力発電における効率的な水車構造の研究

佐藤 大介<sup>\*1</sup>, 中津川 誠<sup>\*2</sup>

## 1 はじめに

再生可能エネルギーのひとつとして、小水力発電が注目されている。小水力発電は設備に関するスペースが小さく済む利点があるが、利用する水路形態と効率的な水車の関係が明らかでない。水理条件に合った効率的な水車構造を実験により明らかにする事を本研究の目的とする。

水車型式は開放式（上掛け、下掛け）と螺旋式を想定している。各水車型式について実験水路の水理条件（勾配、流量）を変更して効率的な形状（羽の枚数・形状など）を明らかにし、水車型式の最適な選択基準を明確にすることを目標とする。

以上のような水理実験および先例地視察を通し、小水力発電導入のための基礎的知見を得た。

## 2 実験の概要

### 2.1 実験水路

実験に使用した水路は、全長 3.50m、幅 0.30m、高さ 0.30m（側壁部：アクリル製、床部：木製）の循環式可傾斜水路内に助走区間（上流）・水車設置区間・助走区間（下流）の 3 区間で構成される水路幅可変式水路である。上流側の助走区間は高さ 10cm、20cm の落差を調整できる構造とした。水車設置区間は、各水車および落差に対応できる構造とするため、専用のパーツを作成し取り付けた。下流の助走区間は、水路幅の 10 倍程度を目安に長さを決定し、高さ 0.05m の木製側壁を取り付けた。

### 2.2 水車

実験には表 1 に示す 5 種の水車を準備した。水車本体は写真 1 に示すシャフト付き固定治具へ取付け使用した。

表 1 実験に使用した水車諸元

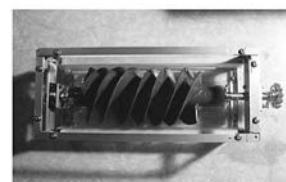
水車種類	水車直径(m)	水車幅(m)	羽根枚数(枚)	羽根形状
下掛け水車	0.300	0.050	12	直線形
			36	直線形
			36	曲線形
上掛け水車	0.200	0.050	6	直線形

水車種類	水車直径(m)	水車全長(m)	羽根枚数(枚)	羽根間隔(m)
螺旋水車	0.070	0.150	4	0.015

※下掛け水車の曲線形はR=0.15



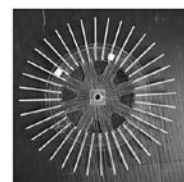
水車固定治具



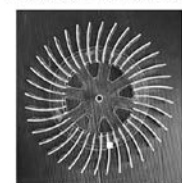
螺旋式水車



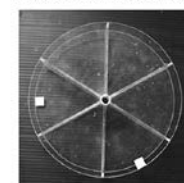
下掛け式 12 枚羽直線形



下掛け式 36 枚羽直線形



下掛け式 36 枚羽曲線形



上掛け式

写真 1 水車固定治具と実験に使用した水車

\*1：株式会社 水工リサーチ

\*2：くらし環境系領域社会基盤ユニット



写真2 発電機と増速機（左）、回転計（中央）  
およびデータロガー（右）

### 2.3 発電機・増速機・計測機器

発電機は最大発電電圧 3V の直流発電機を使用した。増速機（ギア）の増速比は 1 : 50 とした。回転数の計測には回転計を使用した。発電量の計測にはキーエンス社製のデータロガーを使用した。（写真2）

### 2.4 計測方法

各実験ケースにおいて電圧、電流、水車の回転数、有効落差、流量の計測を行った。電圧、電流、回転数は、データロガーで同一のサンプリング周期で計測した。水車の回転数は、水車本体に反射シールを貼り付け、アクリル側壁越しに反射シールへデジタル回転計のレーザーを照射し非接触で計測した。流量は、水路下流端で容量が既知の容器を用い満水になるまでの時間を計測し算出した。

### 2.5 実験条件

実験条件を表2に示す。

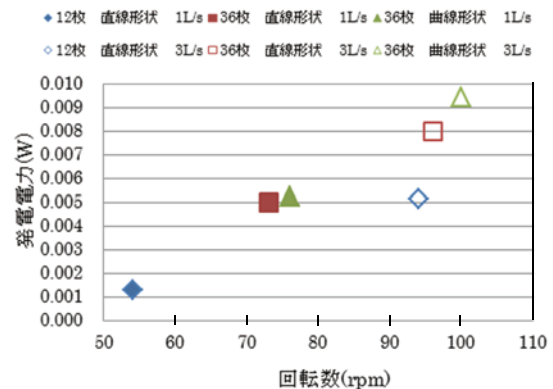
表2 実験条件

水車種類	水車直径(m)	流量(L/s)	落差(m)	羽枚数(枚)	スロープ勾配
下掛け水車	0.300	1.00	0.10	12	1:2
		3.00	0.20		
上掛け水車	0.200	1.00	0.215	6	
		2.00			

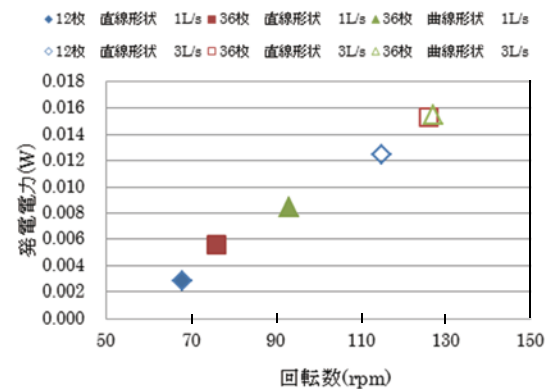
水車種類	水車直径(m)	流量(L/s)	落差(m)	羽枚数(枚)	羽間隔(m)	設置角度(°)
らせん水車	0.070	1.00	0.050	4	0.015	22

## 3 実験結果と考察

表3に各水車の測定結果を、図1(a)(b)に下掛け水車の羽枚数および羽形状による発電電力の違いを示す。上掛け水車は水車の形状および下流側水路の構造により流水の飛散が起きた為、計測が行えなかった。また、螺旋水車は羽形状を変更した水車の作成に時間を要したため、今回は比較実験を見送った。



(a) 水路落差 0.1m



(b) 水路落差 0.2m

図1 下掛け水車の発電電力と回転数の関係図

表3 各水車の発電量

水車種類	羽枚数(枚)	羽形状	流量(L/s)	有効落差(m)	平均電圧(V)	平均電流(mA)	平均発電電力(W)	平均回転数(rpm)	総合効率 $\eta$
下掛け水車	12	直線形状	1.00	0.1133	0.563	2.256	0.0013	54	0.0011
				0.2134	0.835	3.343	0.0028	68	0.0013
			3.00	0.1292	1.129	4.523	0.0051	94	0.0013
		直線形状	3.00	0.2366	1.764	7.049	0.0124	115	0.0018
				0.1163	1.117	4.465	0.0050	73	0.0044
			1.00	0.2193	1.185	4.735	0.0056	76	0.0026
	36	直線形状	1.00	0.1267	1.411	5.648	0.0080	96	0.0021
				0.2400	1.958	7.829	0.0153	126	0.0022
			3.00	0.1160	1.143	4.573	0.0052	76	0.0046
		曲線形状	1.00	0.2193	1.455	5.815	0.0085	93	0.0039
				0.1272	1.537	6.143	0.0094	100	0.0025
			3.00	0.2397	1.970	7.878	0.0155	127	0.0022
螺旋水車	4	曲線形状	1.00	0.0647	0.379	1.518	0.0006	50	0.0009
			1.25	0.0791	0.537	2.148	0.0012	80	0.0012
			1.50	0.0845	0.690	2.759	0.0019	98	0.0015

※下掛け水車のギヤ比は 1 : 50、らせん水車のギヤ比は 1 : 25

表 4 羽根枚数の違いによる比較 (対 12 枚羽根)

水車種類	羽枚数(枚)	羽形状	流量(L/s)	水路落差(m)	平均発電電力(W)	増減率(%)
下掛け水車	36	直線形状	1.00	0.100	0.0050	393
				0.200	0.0056	201
			3.00	0.100	0.0080	156
				0.200	0.0153	123

表 5 羽根形状の違いによる比較 (対直線形状)

水車種類	羽枚数(枚)	羽形状	流量(L/s)	水路落差(m)	平均発電電力(W)	増減率(%)
下掛け水車	36	曲線形状	1.00	0.100	0.0052	105
				0.200	0.0085	151
			3.00	0.100	0.0094	118
				0.200	0.0155	101

図 1 (a)(b)より同一の水理条件下では 12 枚羽根水車より 36 枚羽根水車の方が発電効率が高くなり、羽根枚数が同一であれば羽根形状が直線形状より曲線形状の方が発電効率が上がることが確認された。

総合効率  $\eta$  はハイドロバレー計画ガイドブック<sup>(1)</sup>に記載されている以下の式を用い算出した。

$$P = \rho g Q H \eta \quad (1)$$

ここで、 $P$ : 発電出力 (W),  $\rho$ : 水の密度 ( $1,000\text{kg/m}^3$ ),  $g$ : 重力加速度 ( $9.8\text{m/s}^2$ ),  $Q$ : 流量 ( $\text{m}^3/\text{s}$ ),  $H$ : 落差 (m),  $\eta$ : 総合効率である。

羽根枚数および羽根形状の違いにより発電電力がどの程度変化するかを表 4, 表 5 に示す。表 4 からは羽根枚数の違いが発電電力に与える影響は大きく、低流量時には高流量時以上に影響を与えることが確認された。また、表 5 から若干ではあるが羽根形状の違いが発電電力に与える影響が確認された。

左: 元気くん 1 号ブレード部, 中: 流入部, 右: 発電量表示部



左: 元気くん 2 号全景, 中: 流入部流況, 右: 流出部流況



左: 元気くん 3 号, 中: 上流除塵機, 右: 発電機および



左: 水とエネルギー館内水車模型全景, 中: 水車模型, 右: 愛川第一第二発電所



#### 4 小水力発電に関する先例地視察

小水力発電の導入検討、水車模型製作および実験の参考とするため、実物の水車を視察することとした。低落差・低流量で運用され、水車の種類が多い場所およびその周辺において小水力発電に関連する情報を入力しやすい場所を条件に視察場所を検討した結果、山梨県都留市、神奈川県宮ヶ瀬ダム、文命用水、駒形水車を視察することとした。

都留市は山梨県東部に位置し、周囲を 1,000m 級の山々に囲まれた自然豊かな都市である。市内を流れる家中川 (かちゅうがわ) は寛永 16 年 (西暦 1639 年) に開削され、穀物の精米・製粉、絹織物生産の動力源として多くの水車が設置された歴史がある。明治 38 年には家中川の落差を利用した発電所も作られ、古くから小水力発電と関わりのある土地である。現在、行政・市民グループ・学術機関等の連携により家中川に 3 基の小水力発電施設を運用している。水車は「元気くん 1 号」(下掛け式), 「元気くん 2 号」(上掛け式), 「元気くん 3 号」(らせん式) の 3 種類で、本研究で対象としている水車の種類に合致している。宮ヶ瀬ダムは都留市か

左: 文命用水実証試験全景, 中: 水車上流側, 右: 水車下流側



左: 発電機部, 中: 酒匂川へ合流, 右: 実証試験説明板①



左: 実証試験説明板②, 中: 実証試験説明板③, 右: 実証試験説明板④



左: 駒形水車全景, 中: 駒形水車下流から望む, 右: 水車ブレード



左: 車軸受け, 中: 水車骨組み, 右: 水車設置水路



写真 3 都留市、宮ヶ瀬ダム、文命用水、駒形水車の視察状況



ら車で容易に移動できる距離にあり、愛川第一発電所（24,000kW）と宮ヶ瀬副ダム（別名：石小屋ダム）に愛川第二発電所（1,200kW）という二つの水力発電所を持ち、ダム天端横には水とエネルギー館という水力発電に関する資料館が存在する。宮ヶ瀬ダムから南に位置する南足柄市の文命用水において垂直 2 軸クロスフロー水車の実証試験が行われており、実証試験を見学できる又と無い機会と捉え視察した。また、小田原市内で神奈川県立小田原城北工業高等学校電気研究部の学生が小水力発電の実証試験を行っているという情報を基に駒形水車の視察をした。水車の細部に渡る構造や稼働状況および設置状況、水車設置までの背景、産官学の取り組み等有益な情報を得ることが出来た。視察状況を写真 3 に示す。

現地視察を踏まえての主な考察は以下のとおりである。

- 1) 下掛け式、上掛け式、らせん式水車の実稼働における回転速度、上下流の流況、流量制御方法が確認できた。
- 2) ダムに付帯する発電施設と小水力発電施設の仕組み、施設規模の違いが確認できた。
- 3) 実証実験箇所の上流側には水位計が設置されており水位データを収集していた。模型実験における上下流の水位計測と同じに必要なデータであることが確認された。
- 4) 駒形水車の設置場所は非常に流量が少ない用水路を使用しているが、工夫次第である程度の発電が行える。
- 5) 水路内を流れる流量が発電機の定格以上になる場合、水路上流で流量調整が必要であり、水路内にバイパス等を設ける必要がある。

小水力発電では産学官が連携し計画・施行・運用を行うことで最大のパフォーマンスが生み出される。

## 5 おわりに

本研究では小水力発電模型を用い、水車羽根枚数および羽根形状が発電電力にどの程度影響を与えるか水理実験を行い、羽根枚数の違いが大きく影響を与えることを確認できた。しかしながら、本研究範囲では比較対象が少なく、どのような水理条件下で最適な水車形状か把握するまでいかなかった。また、総合効率が非常に小さく、発電機及び動力伝達方式の見直しが必要と思われる。これらを踏まえ、模型実験のスケール、羽根枚数、羽根形状、水路形状等の各条件を新たに追加した実験のあり方を再検討し、小水力発電に適した高効率の水車開発を目指した実験手法の確立を図っていきたい。

## 文 献

- (1) 経済産業省資源エネルギー庁、財団法人新エネルギー財団：ハイドロパレー計画ガイドブック、2005。